

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

Publication Number: 11-505670

(54) METHOD FOR CURING SPIN-ON-GLASS FILM UTILIZING ELECTRON BEAM RADIATION

(57) ABSTRACT

An electron beam exposure method is described which provides a means of curing spin-on-glass formed on a semiconductor wafer which insulates the conductive metal layer and planarizes the topography in the process of manufacturing multilayered integrated circuits. The method utilizes a large area, uniform electron beam exposure system in a soft vacuum environment. A wafer coated with uncured siloxane spin-on-glass is irradiated with electrons of sufficient energy to penetrate the entire thickness of the spin-on-glass and is simultaneously heated by infrared heaters. The wafer is exposed to the predetermined dose of electrons while simultaneously raised to a peak temperature in a soft vacuum environment. The electron beam and infrared heaters are then extinguished and the substrate cooled before removing from vacuum.

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公表特許公報 (A)

(11) 特許出願公表番号

特表平11-505670

(43) 公表日 平成11年(1999) 5月21日

(51) Int.Cl.⁸

識別記号

F I

H 0 1 L 21/027
21/31

H 0 1 L 21/30
21/31

5 4 1 Z
A

審査請求 未請求 予備審査請求 有 (全 18 頁)

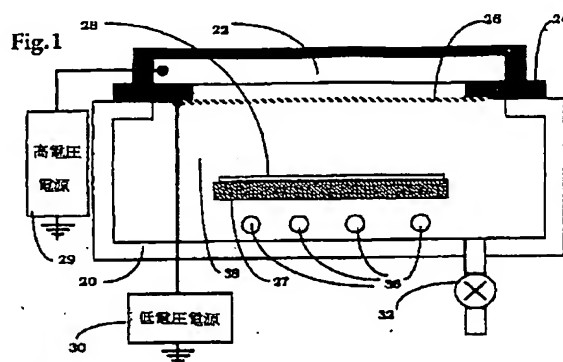
(21) 出願番号 特願平8-534259
(86) (22) 出願日 平成 8 年(1996) 5 月 8 日
(85) 翻訳文提出日 平成 9 年(1997) 11 月 10 日
(86) 国際出願番号 P C T / U S 9 6 / 0 6 6 2 5
(87) 国際公開番号 W O 9 6 / 3 6 0 7 0
(87) 国際公開日 平成 8 年(1996) 11 月 14 日
(31) 優先権主張番号 0 8 / 4 3 7 , 4 6 1
(32) 優先日 1995 年 5 月 8 日
(33) 優先権主張国 米国 (U S)
(81) 指定国 E P (A T , B E , C H , D E ,
D K , E S , F I , F R , G B , G R , I E , I T , L
U , M C , N L , P T , S E) , C N , J P , K R , S
G

(71) 出願人 アライドシグナル・インコーポレーテッド
アメリカ合衆国ニュージャージー州07962
-2245, モーリスタウン, コロンビア・ロ
ード 101, ビー・オー・ボックス 2245
(72) 発明者 リブセイ, ウィリアム・アール
アメリカ合衆国カリフォルニア州92131,
サン・ディエゴ, リーフウッド・ブレイス
10317
(72) 発明者 ロス, マシュー・エフ
アメリカ合衆国カリフォルニア州92131,
サン・ディエゴ, キャニヨン・レイク・ド
ライブ 10590
(74) 代理人 弁理士 社本 一夫 (外 5 名)
最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 電子ビーム放射を用いてSOG膜を硬化させる方法

(57) 【要約】

半導体ウエーハに形成されたSOGを硬化させる手段を提供する電子ビーム露光方法が記載され、この方法は、多層集積回路を製造するプロセスにおいて、導電金属層を絶縁すると共に、形態を平坦化する。本方法は、ソフトな真空環境の中で大面積で均一な電子ビーム露光装置を用いる。硬化されていないシロキサンSOGで被覆されたウエーハが、SOGの厚さ全体を貫通するに十分なエネルギーを有する電子によって照射され、同時に、赤外線ヒータによって加熱される。ウエーハは、所定の照射量の電子に露呈され、同時に、ソフトな真空環境の中で最大温度まで上昇される。次に、電子ビーム及び赤外線ヒータを停止し、基板は、真空から取り出されるまで冷却される。



【特許請求の範囲】

1. 半導体基板上のSOG材料を硬化させるための方法であって、
半導体基板の上に形成されたSOG層を真空チャンバの中に入れてそこに残す
工程と、

前記SOG層の表面全体を実質的に均一に露光すると共に前記層の厚さ全体に
わたって貫通するに十分なエネルギーを有する大面積電子ビームによって、SOG
層を照射する工程と、

同時に、前記SOG層を比較的低い温度に維持しながら、前記SOG層に熱を
与える工程とを備え、

これにより、クラック又は他の損傷を生ずることなく、前記SOG層を硬化さ
せることを特徴とする方法。

2. 請求項1の方法において、

前記真空環境は、10-40ミリトールの範囲の比較的高い真空圧を有するソ
フトな真空であることを特徴とする方法。

3. 請求項1の方法において、

前記硬化プロセスが、約250°Cよりも低い最大温度で行われることを特徴
とする方法。

4. 請求項1の方法において、

前記熱を与える工程は、前記SOG層に指向される赤外線ヒータを活動化させ
る工程を含むことを特徴とする方法。

5. 請求項1の方法において、

前記熱を与える工程は、前記大面積電子ビームによってエネルギーを供給するこ
とによってだけ前記SOGを加熱する工程を含むことを特徴とする方法。

【発明の詳細な説明】

電子ビーム放射を用いてSOG膜を硬化させる方法

発明の背景

発明の分野

本発明は、概略的に言えば、半導体デバイスの製作に関し、より詳細に言えば、半導体デバイスに使用されるスピン・オン・ガラス（SOGと呼ばれることが多い）を硬化させるための方法に関する。

従来技術の説明

超々大規模集積回路（超々LSI）を製造する際の多段相互接続に使用される層間誘電体は、ギャップ充填を行って、高アスペクト比のギャップ（金属導体の間の）、及び、形態の高い平坦性（平坦化）を得ることを必要とする。そのような要件を満たすために、種々のインターレベル誘電体形成プロセスが研究されてきた。テトラエチルオルトケイ酸（TEOS）系の化学的気相成長法（CVD）、化学機械的研磨法（CMP）と組み合わされたバイアス高密度プラズマCVDが開発されている。そのような技術には、粒子の生成、プロセスの信頼性、コスト、及び、ギャップ充填機能を含む多くの問題がある。SOGプロセスが用いられており、このプロセスは、他の技術よりも、簡便性、良好なギャップ充填、及び、平坦化を提供する。

集積回路（IC）のプロセス技術においては、信頼性のある相互接続構造を高い歩留で製造するためには、均一な厚さのメタライゼーション層を蒸着し、その後、厳密な寸法及び線幅を維持しながらパターンニングすることを必要である。これらのプロセスの目的は、メタライゼーション工程の前に基板を平坦化しない限り、達成することが困難である。すなわち、上記層間誘電体は、低い相互接続レベルの密に充填された垂直壁の金属線の間のスペースを充填して、滑らかな形態を形成する必要がある。SOG材料は、厚い層に形成されて硬化されるとクラックを生ずる傾向があるので、その厚さが限定される。SOG液体は、ポリマーのケイ素酸素ネットワークから構成されており、そのようなSOG液体の1つが、

有機溶媒（一般的には、高沸点溶媒及び低沸点溶媒の組み合わせ）の中に溶解さ

れたシロキサンである。そのような溶解されたSOG材料は、高速で回転させることにより、半導体ウエーハの上に被覆すなわち塗布される。SOG材料は、集積回路ウエーハのギャップ及び不均一な形態を充填し、これにより、集積回路ウエーハを平坦化する。基板への回転塗布の後に、低温ホットプレート加熱によって、低沸点溶媒が追い出される。次に、ウエーハは、真空中又は窒素中で 300°C - 400°C まで加熱される。これにより、高沸点溶媒、及び、その後のプロセス工程でクラック及び腐食を生ずる恐れのある成分が除去される。このようにして、極めて薄いコーティングが付与される。厚いコーティングを用いた場合には、SOG膜は、加熱工程における収縮によりクラックを生ずる。厚いコーティングが必要な場合には、複数回のコーティングを適用して、真空焼成を行う必要がある。これは、時間のかかるプロセス工程を必要とし、また、生成した膜が最終的な硬化においてクラックを生ずるので、望ましくない。SOG層を形成する最終工程は、非常に高い温度で硬化させる工程である。この工程は、シロキサン材料を破壊して、二酸化ケイ素のような物質に架橋結合させる。水、炭素及びシラノールを含まないSOG層を得るためには、最終的な硬化工程で極めて高い温度（一般的には、 800°C - 900°C ）が必要とされる。不運にして、集積回路の製造においては、SOG膜を硬化させることのできる最大温度は、アルミニウムの相互接続を融解させる可能性があるので、約 450°C までに限定されることが多い。

上記低い温度での硬化の後に、SOG膜は、かなりの量の残留するシラノール及び炭素を含んでおり、従って、容易に水を吸収することができる。SOG膜の誘電性（例えば、誘電率）は、膜のシラノール及び水の含有率によって影響を受ける。集積回路を製造する際には、SOGの誘電率を低くすることが重要であり、その理由は、SOGは、信号線の間の絶縁隔壁になり、従って、回路の上方動作周波数を決定することになるからである。SOGを高温で硬化させる熱的な方法の大きな欠点は、SOG膜がクラックを生ずることである。SOGは、水平面（基板のインターフェースにある）の中で拘束されているので、垂直方向にだけ収縮することができる。これにより、高温で加熱された後のSOG膜には大きな

応力が生ずる。そのような応力、及び、その後のクラックの発生は、平坦化及び良好なギャップ充填機能という好ましい属性を有するにも拘わらず、SOGの応用を制限してきた。また、熱硬化されたSOGのエッチ速度は、熱成長される酸化物のエッチ速度に比較して、劣っている。従って、SOGを低温で硬化させてSOGのその後のクラックの発生を低減すると同時にその物理的性質を改善する何等かの手段を提供することが望ましい。

上述の問題を解決するために、種々の技術が従来提案されてきた。米国特許第5, 192, 164号及び同5, 192, 715号において、Slivaは、SOGをエッチバックすることにより、金属相互接続部の間に未充填の空隙を形成し、これにより、SOGが、硬化する間に、クラックを発生することなく膨張及び収縮を行えるようにする技術を提案している。この方法の欠点は、特別なプロセス工程が必要であり、また、汚染物が上記未充填の空隙を充填する可能性があることである。その後の高温加熱作業により、上記空隙の中にガスが溜まることもあり、そのようなガスは、その後、金属導体の腐食を生じさせることがある。

SOGを硬化させる別の方法は、イオン注入である。米国特許第5, 192, 697号において、Leongは、イオン注入を用いてSOGを硬化させる方法を提案しており、この方法においては、酸化物のエッチ速度を改善しながら低温における硬化作業を行うことができる。高エネルギーイオンが、SOG層に衝突して、加熱及び架橋結合を生じさせる。この技術の欠点は、比較的薄い($\sim 1,000 - 2,000 \text{ \AA}$)層しか硬化させることができず、また、高真空環境($< 2 \times 10^{-5}$ トール)及び高価な機器を必要とすることである。また、高エネルギーイオンは、酸化物の格子構造に損傷を与えると共に、その下の能動回路に放射線の損傷を与えることがある。より厚い酸化物層を貫通させるためには、より高く且つより損傷を与える注入エネルギーが必要とされる。Moriya(N.Moriyaら, "Modification Effects in Ion-Implanted SiO_2 Spin-in-Glass", J. Electrochem. Soc., Vol 140, No.5, May 1993, pp. 1442-1450)によって示されるように、高エネルギーイオンによって誘起される損傷は、SOG膜の性質を劇的に変えることがある。

SOGを硬化させるために提案されている別の技術は、紫外線照射及びホット

プレートを使用する方法である。米国特許第4,983,546号において、Hyunらは、 420°C で硬化された熱硬化SOGよりも良好な性質を有するSOGを得ることをクレームしている。しかしながら、この開示されたプロセスは、 $800^{\circ}\text{C}-900^{\circ}\text{C}$ で硬化されたSOGの優れた品質を生じない。依然として、炭素及びシラノールが存在しており、従って、含まれる炭素による水の吸収に起因して、その後にクラック及び剥離が発生する。

Young-Bum Kohら("Direct patterning of Spin-on-Glass by focused Ion Beam Irradiation", Jpn. J. App. Phys., Vol 31, (1992) pp. 4479-4482)は、収束されたイオンビーム照射を用いて、SOGを架橋結合させている。この文献においては、SOGのイオンビーム照射を熱処理と比較している。 850°C の熱硬化で炭素が除去される。しかしながら、高照射量のイオンビームは、炭素を減少させるが、除去はできない。上記文献は更に、イオンビーム照射は、SOG材料の架橋結合を行わせるためのイオンビームの照射量の2-3倍の照射量を必要とすることを報告している。これは、SOGのイオンビーム処理が長いプロセス時間を必要とすることを意味する。

上述の従来技術においては、SOG膜が $800^{\circ}\text{C}-900^{\circ}\text{C}$ で硬化されない場合には、膜に残留炭素が残ってしまう。そのような残留炭素は、その後のクラックの発生及び絶縁性の損失を生じ、後硬化処理において、汚染物が金属と相互接続する。従って、SOGを低温で硬化させると共に、高温($800^{\circ}\text{C}-900^{\circ}\text{C}$)で硬化されたSOG膜と同じ又はそれよりも優れた特性を得るための手段を提供することが望ましい。

SOGは、集積回路の形態を平坦化するために使用される。1よりも大きいアスペクト比のギャップ又は空隙を充填する時には、SOGは、一般的に、熱処理における収縮によってクラックを発生する。従って、半導体デバイスの製造は、SOGをCVDベースの酸化物で封入するための複雑で高価なプロセスを用いる必要がある。この多層封入は、プロセス工程を増やすと共に、コストを高め、更に、欠陥を生ずることがある。これらの問題を解消するために、半導体メーカーは、空隙のアスペクト比を1よりも小さい値に維持して、許容できるプロセス歩留及び許容できるプロセス利益を確保している。より高いアスペクト比を得るた

めには、ギャップ充填は、SOG膜の間に化学的気相成長された酸化物と交互に設けられるSOGの複数回の回転塗布を必要とする。上記堆積された層間膜又はCVD膜は、収縮、応力及びクラックの発生を減少させる。より高密度の回路にしようとする、1よりも大きいアスペクト比においてクラックが発生する傾向により、得ることのできる特徴サイズ及び充填密度が制限される。より大きなアスペクト比の空隙充填をクラックを発生させることなく行うことのできるSOGの硬化手段が必要とされることは明らかである。

シロキサン型の物質の電子ビーム照射による架橋結合は、直接パターンングを行い、リソグラフィで使用するに関して、多くの研究者によって報告されている。電子ビームは、SOG膜の架橋結合を行うと考えられてきた。A. Imai and H. Fukuda("Novel Process for Direct Delineation of Spin on Glass(SOG)", Japanese J. Appl. Physics, Vol. 29, No. 11, 1990, pp. 2653-2656)は、精密に収束された電子ビームを用いてSOGを架橋結合させて溶媒中で可溶性にし、これにより、SOGを半導体基板の上で直接パターンングする方法を開示している。しかしながら、Imai and Fukudaは、SOGをパターンングするために電子ビームを使用することだけを教示していて、最終的な硬化を行わせるために電子ビームを使用することは教示していない。

電子ビームリソグラフィ法を用いて比較的少ない高エネルギー電子を照射して露光させると、半導体の酸化物層に損傷が生ずるという歴史から、高エネルギー電子を用いてSOG材料の最終的な硬化を行わせることは自明ではない。従って、半導体の酸化物を数倍大きな電子の照射量に露呈させることは、高い歩留でデバイスを処理するためには禁物であるように思われる。また、電子ビームが半導体の酸化物を露光すると、電荷の生成、Si-SiO₂界面における電子状態の生成、及び、酸化物の中の電子トラップを含む無数の悪影響がある。そのような悪影響は、敷居電圧の変動、トランジスタにおけるチャンネル移動度の劣化、及び、ホットエレクトロン効果の如き問題をMOSデバイスに生じさせる。電子ビーム・リソグラフィに使用される照射量は、5乃至100 $\mu\text{C}/\text{cm}^2$ の範囲である。SOGを完全に硬化させるために必要とされる照射量の数倍程度の照射量は、半導体デバイスの能動酸化物に大きな損傷を与えるように思われる。これが、今

までSOGを硬化させるために電子ビームを使用することを躊躇させていた理由かも知れない。

高い照射量の電子ビームで照射すると、電子ビームが半導体の酸化物に損傷を与え、従って、電子ビーム照射をSOG材料の硬化を行うための不明確な選択肢にすることを示す従来技術の積み重ねがある。高エネルギー電子は、酸化物層に入射すると、電子／正孔の対を発生させる。そのような対は、一旦発生したのちに、酸化物の電界によって分離する。移動度が極めて高い上記電子は、表面又は導電層へ比較的迅速に移動し、一方、上記正孔は、二酸化ケイ素／ケイ素の界面に捕捉される。この捕捉プロセスは、正電荷の生成と呼ばれる。正電荷の生成は、温度に依存する。温度が低くなればなるほど、正孔の移動度は低温で小さくなるので、正電荷の生成は多くなる。二酸化ケイ素／ケイ素の界面における電子の状態が、その後のCV曲線を、理想的な平行移動ではなく、電圧軸に沿って拡張させる。この拡張が生ずる理由は、界面の状態が存在する場合には、あるゲートバイアスにおいてケイ素のバンドベンディング (band bending) が少なくなるからである。

界面状態は、負に帯電され、MOSトランジスタの敷居電圧に影響を与える。電子ビーム照射は、二酸化ケイ素膜に中性電子のトラップを生じさせる。

放射線により誘起される中性電子のトラップは、ホットエレクトロンの不安定性を増大させる。小さな寸法のMOSトランジスタに関しては、ケイ素基板から二酸化ケイ素の層へのホットエレクトロンの放出が生ずる。そのような電子の一部は、恐らくトラップされる。このトラップされた電荷は、敷居電圧の変動、及び、相互コンダクタンスの劣化の如き望ましくない効果を生ずる。

上述の総ての理由から、硬化手段としてのSOGの電子ビーム照射は、デバイスの能動層に損傷を与えることなく実行できなければ、従来技術に対する魅力的な代用手段ではない。SOGの電子ビーム硬化が、従来技術よりも有益で優れた結果をもたらすことができれば、SOGを完全に硬化させるために必要な電子ビームの高い照射レベルを維持しながら、電子ビームによる酸化物層への損傷を極力少なくする必要がある。

目的及び効果

本発明の目的は、SOG材料を硬化させる改善された低温の方法を提供することである。本発明の別の目的は、最大プロセス温度を 250°C よりも低い温度に維持しながら、SOG層を硬化させて炭素を完全に除去すると共に、密度が高くエッチ耐久性の高いSOG膜を得る手段を提供することである。本発明の更に別の目的は、厚い（クラックを生ずることなく熱的に硬化することのできる厚さよりも厚い）SOG層を単一の被覆で硬化させて厚い層の複数の被覆を排除し、その際に、厚いSOGコーティングにクラックを生じさせることなく、上記SOG層を硬化させることのできる、手段を提供することである。

本発明の更に別の目的は、従来技術の手法では現在不可能である、厚いSOGをクラックを生じさせることなく硬化させることができ、また、2又は3よりも大きいアスペクト比を達成することのできる、SOG膜の硬化手段を提供することである。

すなわち、本発明の目的は、電子ビーム照射及び赤外線加熱を同時に用いて、SOGを硬化させるための改善された方法を提供することである。本発明の別の目的は、一般的に必要とされる熱量よりも小さい熱量を与えることによって、SOGのクラックの発生を防止し、同時に、SOG膜の性質を改善する、SOGの硬化手段を提供することである。本発明の更に別の目的は、高エネルギーの電子を大量に照射することにより、SOG層の照射及び硬化を行い、その際に、酸化物層に損傷又は劣化を生じさせない、手段を提供することである。

本発明の別の目的は、ソフトな真空（ $10-40$ ミリトール）の中でSOGを照射する大面積の均一な電子ビーム源でSOGを硬化させ、これにより、SOG膜又は隣接する酸化物に劣化を生じさせない、手段を提供することである。本発明の更に別の目的は、 800°C よりも低い温度の熱硬化技術によって得ることのできるものよりも、高い屈折率、高いエッチ耐久性及び高い絶縁耐力を達成する、SOGの硬化手段を提供することである。本発明の主要な利点は、SOGを低温で硬化させることにより、熱成長された酸化物の性質に近い性質を得ることができることである。

発明の概要

ここに開示する本発明は、ウェーハを間接的に加熱する赤外線ランプと組み合

わせて、ソフトな真空環境の中でSOG材料を照射する大面積の電子ビームを使用する。この新規なプロセスは、最大プロセス温度を250°Cよりも低い温度に維持しながら、SOGを硬化し、SOGを高密度化し、総ての炭素及び溶媒を除去する。ウェーハ上に被覆されたSOG層は、ソフトな真空の中でブランケット電子ビームで照射され、同時に、加熱される。本プロセスは、上記ソフトな真空の中で上記電子ビームによって発生される陽イオンで表面電荷を中和することにより、その下の半導体デバイス及び酸化物が劣化する影響を減少させる。電子ビーム照射の間にSOG（酸化物層）を加熱することにより、通常は絶縁性である酸化物の上記電子ビームで誘起される導電率を高め、これにより、酸化物層の中の電荷を中和された表面に追い出す。

図面の簡単な説明

図1及び図2は、本発明のプロセスの断面図であって、電子ビーム露光装置、硬化されている基板、及び、真空チャンバを示している。

好ましい実施例の説明

スピン・オン・ガラス（SOG）材料を低温で硬化させるこの新規な方法は、図1及び図2に示されている。基板27が、15-40ミリトールの圧力の真空チャンバ20の中に設けられている。上記基板は、電子が電子源と基板表面との間を移動する間にそのような電子がイオンを発生するのに十分な距離だけ、電子源から離れて下方に位置している。電子は、ソフトなすなわち穏やかな真空（15-40ミリトール）環境の中で作動する任意のタイプの電子源から発生させることができる。この目的に特によく適した電子源が、米国特許第5,003,178号に記載されており、上記米国特許の開示は、参考として本明細書に組み込まれている。そのような電子源は、ソフトな真空環境の中で作動できる均一で安定な大型の電子源である。カソード22が、電子を放出し、これら電子は、上記カソードとアノード26との間の電界によって加速される。上記2つの電極の間の電位は、カソード22に与えられる高電圧電源29とアノード26に与えられるバイアス電圧電源30とによって、発生される。SOG層の厚さ全体を完全に貫通するに十分な電子エネルギーが選択される（例えば、6,000Åの厚さの膜に対して9keV）。電子は、基板27の上に被覆されたSOG層28を照射す

る。石英ランプは基板の底部を照射し、電子ビームから独立した加熱を提供している。可変リーク弁32を用いて適宜なガスを漏入させ、上記ソフトな真空環境を維持する。図2を参照すると、アノード26と基板27との間の距離46を移動する電子45が、領域38にある気体分子をイオン化させて、陽イオンを発生させる。これらの陽イオン43は、その後、アノード26に吸引され、このアノードにおいて、符号42で示すようにカソードに向かって加速されて、より多くの電子を発生することができる。基板27の上のSOG膜28は、絶縁体であって、符号47で示すように電子衝撃を受けて、負に帯電し始めることになる。しかしながら、基板表面の付近の陽イオンは、上記負の電荷に吸引されて、該負の電荷を中和することになる。ランプ36（図1）が、ウエーハ又は基板を照射してこれを加熱し、これにより、上記ウエーハ又は基板の温度を制御する。上記ウエーハは、真空環境の中にあつて熱絶縁されているので、該ウエーハは、輻射によって加熱又は冷却することができる。上記ランプが消灯すると、上記ウエーハは、その熱を周囲の表面に放散して、穏やかに冷える。本発明の好ましい実施例においては、上記ウエーハは、プロセス全体を通じて、赤外線ランプによって加熱されると同時に、電子ビームによって照射される。赤外線石英ランプは、ウエーハの温度が200-250°Cに達するまで、連続的に点灯する。上記ランプは、変動するデューティサイクルで消灯及び点灯を繰り返して、ウエーハの温度を調節する。ウエーハ及びSOGコーティングは、2,500乃至10,000 $\mu\text{C}/\text{cm}^2$ の十分な照射量が蓄積されてSOGが硬化するまで、電子によって絶えず照射される。基板の加熱及び電子ビームによる衝撃が、SOG材料の中の溶媒を追い出して上記SOG材料を架橋結合させ、大部分が二酸化ケイ素である材料にする。上記技術を用いると、10分間未満の時間で、非常に厚いSOG層を硬化させることができる。本発明以前には、3,000Åよりも厚い層は、クラックを生ずることなく硬化させることができなかった。本プロセスは、クラックを生ずることなく、厚いSOGを硬化させることを可能にする。また、従来技術を用いることによっては現在不可能である2又は3よりも大きいアスペクト比が、本発明によって達成することができる。更に、本発明者等は、SOGの中の炭素を200°Cよりも低い最高プロセス温度で完全に除去することができるこ

とを見い出した。これは、重要な結果である。酸化膜から有機炭素基が追い出されると、その後は、酸化物による水の吸収が全く行われず、この酸化膜は、通常の熱処理を受けた膜よりも湿式エッチング処理に対して7倍の耐久性を有している。また、ソフトな真空環境の中で大きな面積を電子に露呈するという組み合わせにより、電子ビーム照射の悪影響が低減する。電子ビーム・リソグラフィにおいては、厳密に収束された少量の高電流密度ビームが、基板の上に偏向される。高真空環境の中の露出された酸化物の表面に入射するビームは、その表面に電荷を生成して、酸化物層の前後に高い電界を生じさせる。

対照的に、本発明においては、大きな面積の電子源が、ソフトな真空（ 10^{-4} ミリトール）の中でウエーハ全体を照射する。電子銃のアノードから基板まで移動する電子は、気体分子の一部をイオン化して、陽イオンを生成する。基板の表面に生成した電荷は総て、ウエーハ表面の近傍にある陽イオンによって、迅速に中和される。これにより、電荷を排除する導電コーティングを必要とすることなく、SOG絶縁膜を露光させることができる。表面下（絶縁層すなわち二酸化ケイ素層の中）の電荷の消散が、電子ビームで誘起される導電率によって行われる。ウエーハ全体が、高エネルギー電子ビームによって同時に露光される。従って、照射された表面全体が導電性になり、入射電子によって注入された電荷を表面に消散させることができ、該表面で上記電子は陽イオンによって中和される。

また、本発明者等は、大面積電子ビーム照射とSOG温度の上昇との組み合わせにより、電子ビームの衝突により生成した電荷を消散させる酸化物層の電子ビーム導電率が增大することを見い出した。これにより、電子トラップあるいは酸化物層の中の正電荷の生成を誘発することなく、二酸化ケイ素を架橋結合させて硬化させることが可能となる。これは、新規な結果である。電子ビームにより誘発される導電率の効果は、基板温度に依存する（すなわち、温度が上昇すると導電率が大きくなる）。本発明が教示する方法は、 150°C と 250°C との間の基板温度を使用する。このプロセス温度は、電子ビームにより誘発される導電率の効果を増大し、従って、表面下層からの電荷の消散により、電子／正孔トラップの生成を減少あるいは防止する。電子ビームにより誘起される導電率に関す

る早期の研究においては、酸化物層の前後のバイアス電界は、該バイアス電界がゼロまで減少する前に電子ビームを取り除いた場合には、酸化物層の中に電荷をトラップすることができるということが判明した。これは、バイアス電界が高真空の中の酸化物の表面電荷によって生成される電子ビーム・リソグラフィを用いる場合である。反対に、入射電子ビームを取り除く前に上記バイアスをゼロまで減少させた場合には、電荷が全くトラップされないことが判明した。上記表面電荷は、本発明が教示する電子露光装置の中で絶えず中和されるので、入射電子ビームを停止させると、酸化物の前後には極めて小さい又はゼロのバイアスが存在する。これは、酸化物層の中に電荷トラップが全く発生しないという上述の条件を再現する。

電子ビーム・リソグラフィにおいては、微細に収束されたビームが、ウエーハ表面の小さな部分を書き換える。入射ビームを受けている酸化物は導電性であるが、隣接する領域は導電性ではなく、デバイスの境界面の前後に横方向のバイアス電界が生ずる。本発明が教示するように、電子ビームによってウエーハを完全に露光することにより、ウエーハの全表面及び埋め込まれている酸化物は、照射の間に導電性になり、従って、入射ビームが消滅したときに電荷トラップを生成する横方向のバイアス電界は全く存在しない。

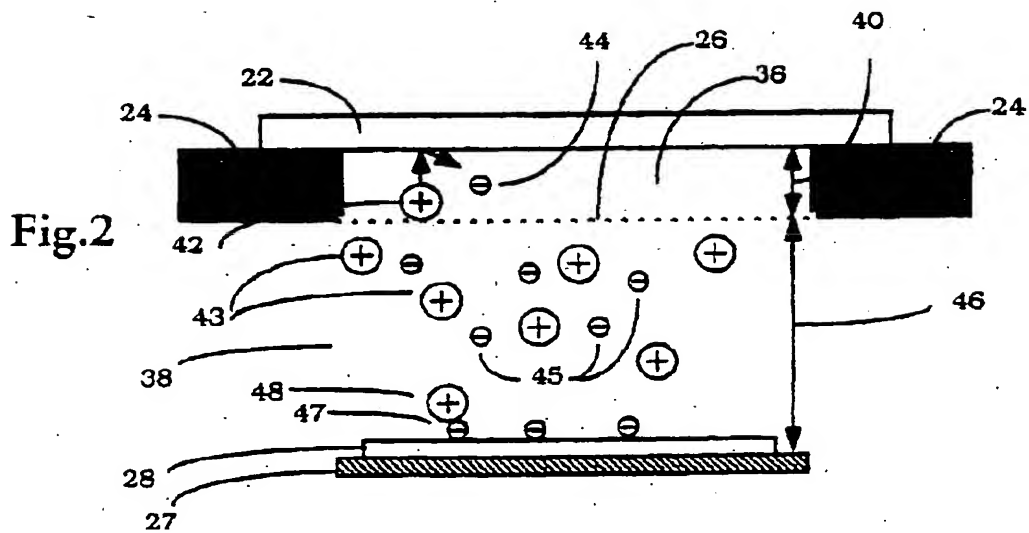
本発明の別の実施例においては、ウエーハを加熱するために赤外線ランプを使用しない。電子ビームを用いて、ウエーハの照射及び加熱の両方を行う。極めて高電流密度の電子照射を用いて処理時間を短くすることにより、電子ビームがウエーハを加熱することが判明した。電子ビームのパワーが、ウエーハが輻射により（ウエーハは、熱伝導性の表面から熱絶縁されている）消散し得るパワーよりも大きい場合には、ウエーハは加熱されることになる。この場合には、ビーム電流とビーム電圧との積（パワー＝電流×電圧）は、ウエーハが放散するパワーよりも大きく、従って、ウエーハは、電子ビームによって加熱される。

本発明の別の実施例においては、ウエーハ又は基板は、冷却されたプレートを紹介して冷却することができる。これにより、ウエーハ又は基板は、周囲温度近くに維持され、SOG膜は、依然として、電子ビーム照射だけによって硬化させることができる。このプロセスは、上述の実施例で使用した200°Cの温度さえ

許容できないデバイスに使用することができる。

上述の事柄から、本発明は、SOGの処理を大幅に前進させることが理解されよう。すなわち、本発明は、SOG材料を電子ビーム照射で硬化させ、厚いSOG材料を硬化させ、SOG膜の炭素、異物及び他の汚染物を排除するために通常必要とされるよりもかなり低い温度で、SOG材料を硬化させる方法を提供する。この改善された方法は、高温の熱硬化方法よりも迅速に実行することができる。本方法は、低い温度で実行することができるので、メタライゼーション層を融解する危険性を伴うことなく、800°C-900°Cで硬化されたSOG膜の所望の性質を得ることができる。SOG膜をソフトな真空環境の中で大きく均一な電子ビームによって照射することにより、電子ビームによる感光性の酸化物に対する損傷を排除ないしは極めて少なくする。説明を目的として本発明の多くの特定の実施例を上記に詳細に説明したが、本発明の精神及び範囲から逸脱することなく、多くの変更を行うことができることは理解されよう。従って、本発明は、添付の請求の範囲の記載以外の記載によって限定されるべきではない。

Fig. 1



【國際調查報告】

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International Application No. PCT/US 96/06625		
A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER IPC 6 H01L21/316 H01L21/3105 H01L21/48		
According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC		
B. FIELDS SEARCHED Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols) IPC 6 H01L		
Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched		
Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practical, search terms used)		
C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	US,A,5 376 586 (BEILIN SOLOMON I ET AL) 27 December 1994 see column 4, line 55 - column 6, line 2 ---	1,4
A	US,A,4 222 792 (LEVER REGINALD F ET AL) 16 September 1980 see column 5, line 45 - column 6, line 21; example 1 ---	1
A	US,A,4 596 720 (KERYK JOHN R ET AL) 24 June 1986 see column 8, line 22-42; claims 12-14 ---	1,6,8
A	US,A,5 024 969 (ECHE JOHN J) 18 June 1991 see claims 1-8 -----	1
<input type="checkbox"/> Further documents are listed in the continuation of box C. <input checked="" type="checkbox"/> Patent family members are listed in annex.		
* Special categories of cited documents : "A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance "E" earlier document but published on or after the international filing date "L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified) "O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means "P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed "T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention "X" documents of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone "Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art "&" document member of the same patent family		
Date of the actual completion of the international search 8 October 1996		Date of mailing of the international search report 15. 10. 96
Name and mailing address of the ISA European Patent Office, P.B. 5111 Patentlaan 2 NL - 2220 HV Rijswijk Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl, Fax (+31-70) 340-3016		Authorized officer Hammel, E

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International Application No.

PCT/US 96/06625

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)	Publication date
US-A-5376586	27-12-94	JP-A- 7007104	10-01-95
US-A-4222792	16-09-80	CA-A- 1142272	01-03-83
		EP-A- 0025129	18-03-81
		JP-C- 1216438	17-07-84
		JP-A- 56040261	16-04-81
		JP-B- 58051422	16-11-83
US-A-4596720	24-06-86	CA-A- 1283491	23-04-91
		DE-A- 3680625	05-09-91
		EP-A- 0217334	08-04-87
		JP-C- 1735579	17-02-93
		JP-B- 4817991	26-03-92
		JP-A- 62086062	20-04-87
US-A-5024969	18-06-91	NONE	

フロントページの続き

(72)発明者 ルビアレス, アンソニー・エル
アメリカ合衆国カリフォルニア州92064,
ボウエイ, アーワーニー・ウェイ 13746